

‘98 추계학술발표회 논문집
한국원자력학회

라그랑지안 대기확산모델을 이용한
월성원전 주변 공기중 삼중수소 농도 계산

Estimation of Air Tritium Concentration around Wolsung NPP Site
Using a Lagrangian Atmospheric Dispersion Model

이명찬, 이갑복, 송영일

한국전력공사 전력연구원
대전광역시 유성구 문지동 103-16

김기남

한국전력공사
서울특별시 강남구 삼성동 167

요 약

삼차원 해륙풍 모델과 라그랑지안 입자확산모델을 이용하여 해안지역에 위치한 원전으로부터 정상운전시 장기적으로 연속 방출되는 방사성 물질의 대기확산 평가방법론을 개발하였다. 개발된 방법론을 적용하여 월성원전 부지를 대상으로 풍향, 풍속 및 운량에 따라 범주화된 각 종관기상 상태에 대해 일평균 방사성 물질 대기확산인자 데이터베이스를 구축하고, 각 종관기상 발생빈도율을 가중함수로 하여 분기 및 연평균 대기확산인자를 계산하였다. 계산된 대기확산인자를 이용하여 구한 월성원전 주변지역의 공기중 삼중수소 농도를 측정값과 비교하였다. 비교 결과, 본 연구에서 개발한 라그랑지안 대기확산모델이 월성원전 주변의 공기중 삼중수소 농도를 매우 정확히 추정하고 있음을 확인할 수 있었다.

Abstract

A Lagrangian atmospheric dispersion model(K-LADM) combining a three dimensional sea-land breeze model has been developed and applied to the estimation of the quarterly and the annual averaged air tritium concentration around Wolsung NPP site. The estimated concentrations were compared with the observed concentration data. The results showed that the present Lagrangian Atmospheric dispersion model(K-LADM) provided very good agreement with the observations.

1. 서 론

삼중수소는 원전에서 주로 HTO 형태로 방출된다. 중수로형 원전에서 방출된 삼중수소는 원전 주변주민의 호흡 또는 식물체 섭취에 의한 내부피폭의 대부분을 차지하고 있다. 삼중수소는 토양과 동·식물체로 전이되어 식물체를 통해 인체로 유입되거나, 직접 호흡을 통해 내부피폭을 유발하게 된다.

삼중수소는 수소의 동위원소의 하나로 환경에서 수소와 동일한 거동특성을 보이고 있다. 삼중수소는 물의 환경거동을 따르기 때문에 타핵종과는 달리 환경에서의 거동이 매우 빨라 환경매질간에 쉽게 평형상태에 도달된다. 따라서, 원전 정상가동시와 같은 장기간의 연속방출에 의한 삼중수소 거동해석 및 피폭선량 평가에서는 평형모형을 주로 사용하고 있다[1,2].

평형모형은 공기중의 수소와 삼중수소의 비 (T/H)가 식물체에서도 일정하다고 가정하여 식물체의 삼중수소 농도를 계산하기 때문에, 삼중수소에 의한 원전 주변주민의 피폭선량을 보다 정확히 평가하기 위해서는 공기중 삼중수소 농도 추정의 신뢰도를 확보하는 것이 매우 중요하다.

월성원전은 해안지역에 위치하고 있어 삼중수소를 비롯한 방사성 물질의 대기확산 및 이동은 해안지역의 대표적인 국지 대기순환인 해륙풍에 크게 영향을 받고 있다. 따라서 이러한 국지적인 기상현상을 반영할 수 있는 대기확산모델이 필요하나, 바람장 계산을 위한 입력자료의 수집 및 계산에 많은 시간이 소요되므로 이를 해결할 수 있는 새로운 방법이 도입되어야 한다.

전력연구원에서는 해륙풍 순환이 중관규모의 기상상태에 크게 영향을 받고 있음에 착안하여, 월성원전 부지를 대상으로 풍향, 풍속 및 운량에 따라 범주화된 각 중관기상 상태에 대해 삼차원 해륙풍 모델[3]과 라그랑지안 입자확산모델[4]을 이용하여 일평균 대기확산인자 데이터베이스를 구축하고, 일평균 대기확산인자와 중관기상 상태의 계절 또는 연간 발생일 빈도율을 가중함수로 하여 계절 또는 연평균 대기확산인자를 계산하는 장기 대기확산 평가방법론을 개발하였다[5].

본 연구에서는 개발된 라그랑지안 대기확산모델을 이용하여 월성원전 주변지역의 1996년 분기 및 연평균 공기중 삼중수소 농도를 계산하고, 그 결과를 같은 기간의 월성원전 주변지역의 농도 측정 값과 비교·평가하였다.

2. 공기중 삼중수소 농도 계산방법

그림 1은 원전으로부터 대기중으로 방출된 방사성 물질의 분기별 또는 연평균 대기확산인자를 계산하는 라그랑지안 대기확산 모델링 체계(K-LADM : Lagrangian Atmospheric Dispersion Modeling System)를 보여주고 있다.

K-LADM에서 중관기상 상태는 계절별로 850hPa의 지균풍을 풍향 4방위(북풍:315° ~ 45°, 동풍:45° ~ 135°, 남풍:135° ~ 225° 그리고 서풍:225° ~ 315°), 그리고 풍속 2등급(지균풍속 < 5m/s, 지균풍속 ≥ 5m/s)으로 8가지의 경우로 분류한 다음, 부지지역의 일평균 운량을 2가지 경우 (운량 < 5/10, 운량 ≥ 5/10)로 더 나누어 모두 16가지 경우로 분류된다.

계절별로 분류된 각 중관기상 조건에 대해 삼차원 해륙풍 모델로 부지 주변의 바람, 온도 등의 기상장을 계산하고, 그 결과를 라그랑지안 입자확산모델의 입력자료로 사용하여 중관

기상 조건에 대한 계절별 일평균 대기확산인자를 구한다. 일평균 대기확산인자에 각 종관기상 상태의 월별 또는 연간 발생일 빈도율을 곱하여 가중평균하여 분기 및 연평균 대기확산인자를 계산한다.

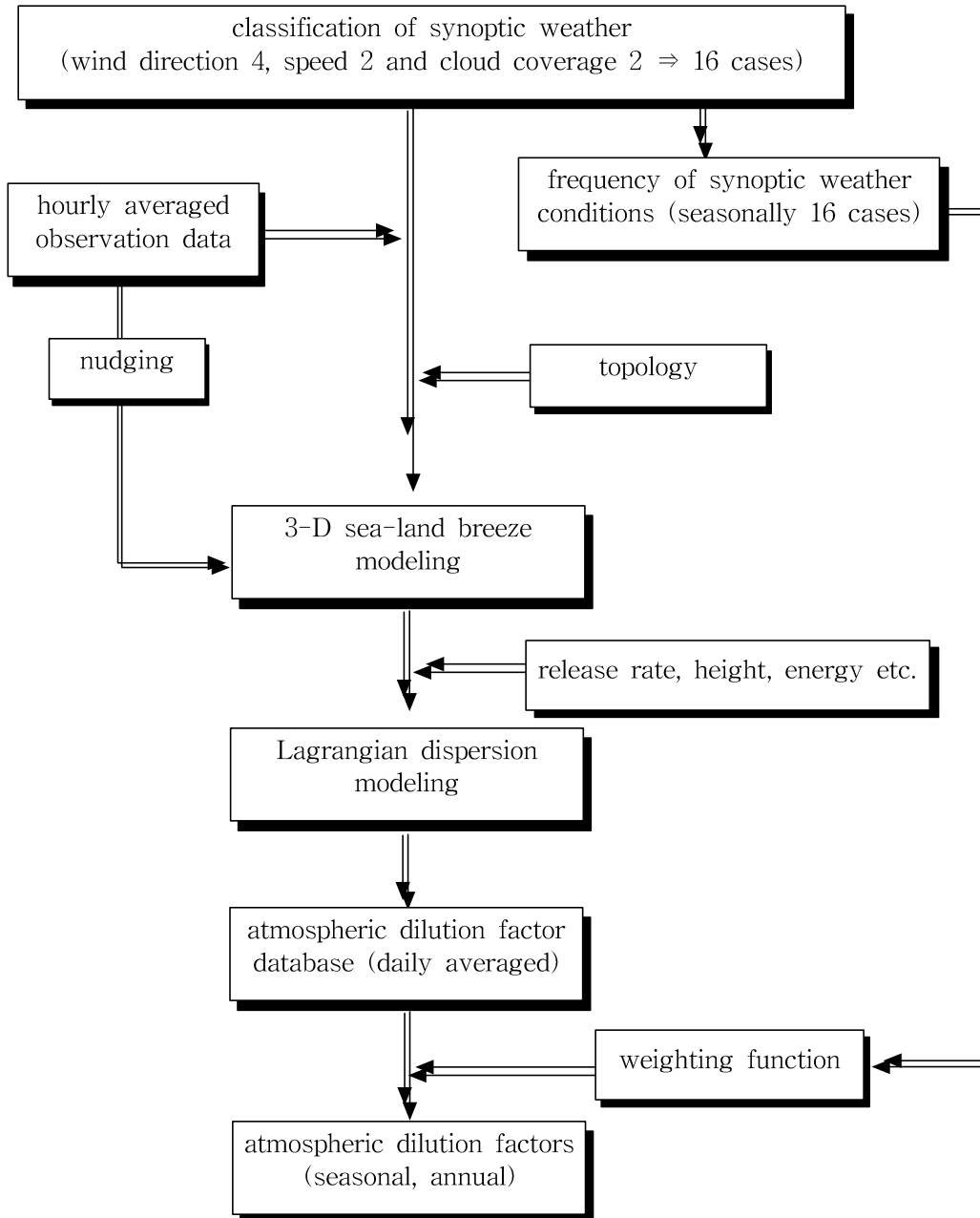


그림 1. 방사성 물질의 계절별 또는 연평균 대기확산인자 계산을 위한 라그랑지안 대기확산모델링 체계(K-LADM)

방사성 물질의 대기확산 예측은 연속적으로 배출되는 방사성 물질 입자들을 시간에 따라 계속적으로 추적하여 원하는 시각에서의 각 입자들의 위치를 결정하여 농도분포를 계산하는 라그랑지안 입자확산모델을 사용하였다. 방사성 입자의 위치는 다음과 같이 결정된다.

$$X_i(t + \Delta t) = X_i(t) + (\overline{U}_i + u_i') \Delta t$$

여기서 X_i 는 한 입자의 좌표계상에서의 공간상 위치를 나타내고, \overline{U}_i 는 입자가 위치한 곳에서의 중규모 바람성분을, u_i' 는 입자가 위치한 지점의 난류성분을, 그리고 Δt 는 시간 변화 즉 적분시간간격을, i 는 좌표계의 x, y, z 성분을 나타낸다. 중규모 바람성분 \overline{U}_i 는 삼차원 미세 격자계 해륙풍 모델로 얻어지는 i 성분의 바람이고, 난류성분 u_i' 는 Markov 과정[6]을 이용하여 매개변수화할 수 있다. 어느 주어진 시간의 대기확산인자는 배출입자의 수가 작아도 적용할 수 있는 kernel density 방법[7]으로 농도를 계산하였다.

본 연구에서는 1990년 ~ 1994년 기상청 및 월성원전 부지 기상탑 자료를 이용하여 계절별로 각 중관기상 조건에 따른 방사성 물질 일평균 대기확산인자 데이터베이스를 구축하고, 1996년의 월별 중관기상 발생빈도를 가중함수로 하여 1996년 월성원전 주변지역의 분기 및 연평균 대기확산인자를 계산하였다.

공기중 삼중수소 농도(Bq/s)는 대기확산인자(s/m^3)의 값에 월성원전의 1996년도에 분기 및 연평균 삼중수소 방출율(Bq/s)을 곱하여 계산하였다.

월성원전에서는 공기중 삼중수소 농도를 주변 10개 지역에서 공기중 수분을 월 2회 실카겔로 채집하여 농도를 측정하고 있다[8]. 분기 및 연평균 측정값은 월별로 측정된 값을 산술 평균하여 구하였다. 측정 지점중 인구밀집지역에 위치한 북쪽 2(청경사택, 상봉), 남쪽 1(직원사택) 및 서쪽 1(나산) 등 4개 지점에 대해 분기 및 연평균 공기중 삼중수소 농도 계산값과 측정값을 비교하였다(표 1).

표 1. 월성원전 주변 공기중 삼중수소 농도 비교지점

지점	청경사택	상봉	직원사택	나산
방향	N	NNE	SSW	W
거리	1.0 km	2.0 km	2.0 km	1.7 km

3. 결 과

그림 2에 1996년도 라그랑지안 대기확산모델로 계산한 월성원전 주변지역의 연평균 대기확산인자를 제시하였다. 월성원전으로부터 배출된 오염물질이 전 방위로 확산되기는 하나 편서풍의 영향으로 주로 동쪽 해상으로 많이 확산되고 있다. 부지 경계지점에서의 대기확산인자는 약 $10^{-7} S/m^3$ 의 값을 보여주고 있으며 남쪽이 북쪽보다 약간 높은 값을 보여주고 있다.

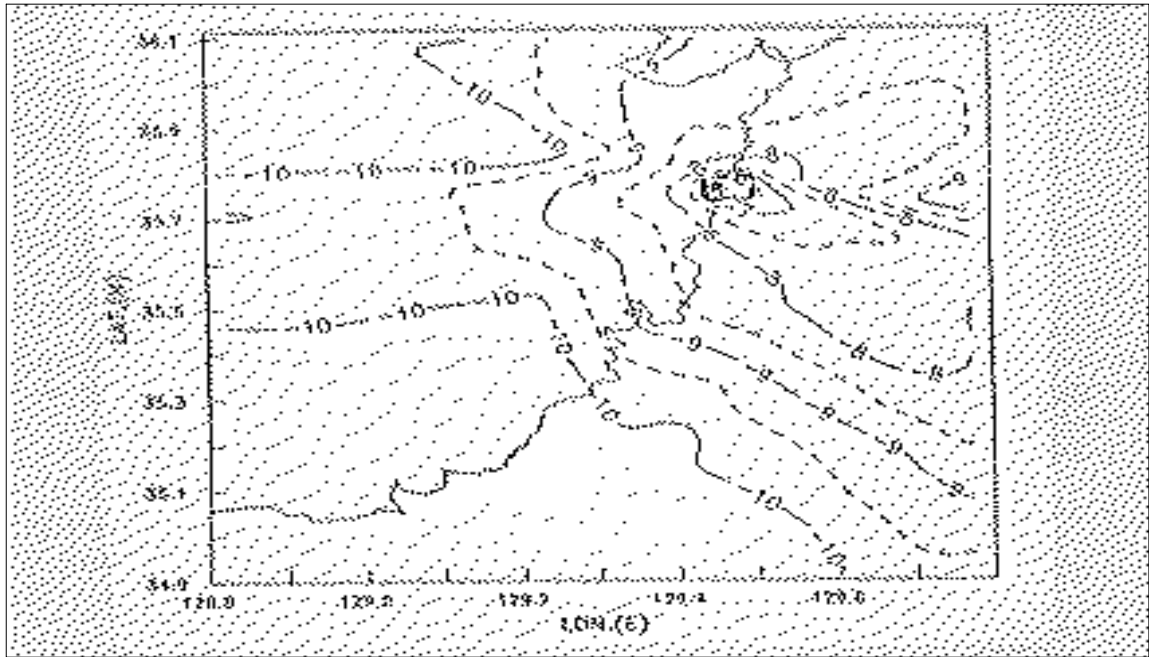


그림 2. 라그랑지안 대기확산모델로 구한 월성원전 주변 대기확산인자 분포
(등치선의 숫자는 상용대수로 단위는 sec/m^3 임.)

표 2에 공기중 삼중수소 농도를 계산하는데 필요한 1996년도 분기 및 연평균 월성원전 삼중수소 방출율과 각 지점의 대기확산인자 계산값을 제시하였다. 삼중수소는 년중 약 $1 \times 10^7 \text{ Bq/s}$ 정도로 거의 일정하게 방출되었다. 대기확산인자는 부지 남쪽에 위치한 후문동 쪽이 가장 높게 나타나고 있다. 특히 연간 종관풍향의 남풍 발생비율이 동풍에 비해 높게 나타나고 있음에도 불구하고, 서쪽에 위치한 나산지역이 북쪽의 같은 거리에 있는 상봉지역 보다 대기확산인자가 크게 나타난 것은 해풍의 영향으로 오염물질이 상대적으로 서쪽으로 많이 수송될 수 있음을 말해 준다.

표 3에 라그랑지안 대기확산모델로 구한 공기중 삼중수소 농도 계산값과 측정값을 제시하였다. 분기별로는 다소 차이가 있으나 연평균적으로는 직원사택과 청경사택 지역은 계산값과 측정값이 거의 일치하는 결과를 보여주고 있는 반면에, 북쪽 약 2 km 지점인 상봉지역에서는 계산값이 측정값의 약 절반 정도로 나타났고, 반면에 서쪽의 나산지역은 측정값의 두배로 계산되었다.

이는 대기확산 모델의 특성에 기인한 것으로 판단된다. 본 연구에서 사용한 대기확산모델은 모델 특성상 지형고도가 실제보다 낮게 적용되는데, 이에 따라 대체적으로 해풍이 관측 결과보다 더 오래 지속되는 것으로 모사되고 있다. 따라서 동풍인 해풍의 영향이 다소 과대 평가되어 부지 서쪽지역에서 삼중수소의 농도가 측정값보다 크게 계산된 것으로 판단된다. 또한 상봉지역에서 1/4분기를 제외하고는 계산값이 관측값보다 작게 나타나고 있는데, 남풍의 발생빈도율이 상대적으로 큰 2/4 분기에 그 편차가 가장 컸다. 이는 나산 지역의 경우와 마찬가지로 해풍의 지속시간 모사에 그 원인이 있는 것으로 판단된다. 즉, 상봉지역이 부지

북북동쪽에 위치하고 있어 해풍의 지속시간이 길어지면 그 만큼 상대적으로 농도가 낮아지게 된다.

표 2. 1996년도 월성원전 분기 및 연평균 삼중수소 방출율 및 비교지점의 대기확산인자 계산값

		1/4분기	2/4분기	3/4분기	4/4분기	연평균
삼중수소 방출율(Bq/s)		1.04E+7	1.09E+7	9.08E+6	8.36E+6	9.78E+6
대기확산인자 (s/m ³)	청경사택	9.25E-8	1.37E-7	1.29E-7	1.07E-7	1.16E-7
	상봉	3.93E-8	5.98E-8	8.23E-8	3.92E-8	2.21E-8
	직원사택	1.59E-7	2.03E-7	3.48E-8	2.17E-8	1.05E-7
	나산	1.19E-7	3.05E-7	3.04E-8	1.86E-8	1.18E-7

표 3. 라그랑지안 대기확산모델로 구한 공기중 삼중수소 농도 계산값과 측정값의 비교
(삼중수소 농도 : Bq/m³)

지점 \ 기간		1/4 분기	2/4분기	3/4분기	4/4분기	연평균
청경사택	계산값	0.99	1.48	1.17	0.83	1.13
	측정값	0.95	2.40	0.96	0.62	1.23
상봉	계산값	0.40	0.65	0.75	0.35	0.54
	측정값	0.34	2.8	1.17	0.77	1.27
직원사택	계산값	1.71	2.22	0.30	0.17	1.11
	측정값	0.76	1.33	1.01	0.37	0.87
나산	계산값	1.29	3.31	0.28	0.18	1.26
	측정값	0.59	1.06	0.60	0.37	0.65

4. 토의 및 결론

본 연구에서는 주민 피폭선량 평가에 원전 주변지역의 국지적인 대기순환을 반영하기 위해, 삼차원 해륙풍 모델과 라그랑지안 입자확산모델을 이용하여 계절 또는 연평균 방사성 물질 대기확산 평가방법론을 개발하였다. 개발된 방법론을 이용하여 월성원전 주변 주민의 피폭선량 평가에 큰 영향을 미치는 공기중 삼중수소 농도를 계산하여, 측정값과 비교하였다.

라그랑지안 대기확산모델로 구한 공기중 삼중수소 농도 계산값과 측정값을 비교한 결과, 부지 서쪽지역에서는 삼중수소 농도가 다소 높게, 부지 북쪽에서는 다소 낮게 계산되었지만, 전반적으로는 월성원전 주변의 공기중 삼중수소 농도를 측정값과 수배 이내의 오차를 갖는 비교적 정확한 추정결과를 보여주고 있다.

그러나 보다 더 정확한 삼중수소 농도 추정을 위해, 본 연구에서 개발된 대기확산모델을 보완해야 할 필요가 있다. 모델 특성상 실제보다 고도가 낮게 지형조건을 입력하여 해풍의 지속시간이 관측결과보다 다소 길게 모사하였다. 그러나 실제와 동일한 조건의 지형고도를 사용하기 위해서는 모델의 격자간격을 줄여야 하는데, 이는 계산시간이 과다하게 소요되므로 현실적으로 매우 어렵다. 따라서 관측자료를 이용하여 해풍의 지속시간을 보정하는 방법이 모색되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. Evans, A. G., "New Dose Estimates from Chronic Tritium Exposure," *Health Physics*, 16, 57-63, 1969
2. USNRC, Reg. Guide 1.109, 1977
3. 이갑복, 이명찬, 송명재, "월성원전 부지의 삼차원 미세격자계 해륙풍 모델링," *한국원자력학회 '97 춘계학술발표회논문집(II)*, 457-462, 1997
4. 이갑복, 이명찬, 송명재, "월성원전 부지 주변의 해륙풍을 고려한 방사성 물질의 대기확산 모델링," *한국원자력학회 '97 춘계학술발표회논문집(II)*, 463-468, 1997
5. 이갑복, 이명찬, 송영일, "월성원전 부지의 가을철 방사성물질의 대기확산인자 분포특성," *한국원자력학회 '98 춘계학술발표회논문집(II)*, 665-670, 1998
6. Legg, B. J. and M. R. Raupach, "Markov-chain simulations of particle dispersion in homogeneous flows : The mean drift velocity induced by a gradient in eulerian velocity variance," *Bound. Layer Meteor.*, 24, 3-13, 1982
7. Yamada, T., C. Y. Kao and S. Bunker, "Airflow and air quality simulation over the western mountainous region with a four dimensional data assimilation technique," *Atmos. Environ.*, 23, 539-554, 1989.
8. 한국전력공사, "월성원전주변 환경방사능 조사보고서(1996년보)," 1997